

Mikrohullámú berendezések invárból készült szűrő alkatrészeinek galvanikus kikészítése

BAJOR ANDRÁS dr.
FARKAS SÁNDOR
ORION

Modern mikrohullámú berendezésekben a 60-as évek közepétől jelenik meg az invár, mint mikrohullámú alkatrészek anyaga. Alkalmazását kis hőtágulási együtthatója teszi indokolttá. Amíg a réz $0,0162 - 0,0165$ mm/m °C, a sárgaréz $0,0184$ mm/m °C hőtágulási együtthatóval rendelkezik, addig az invaré (FeNi 36) ennél egy nagyságrenddel kisebb, $0,0016$ mm/m °C, következképpen széles hőfoktartományban méretállandó alkatrészek készíthetők belőle. Így invár alkatrészekből készült mikrohullámú láncok szélsőséges időjárási viszonyok között is üzemeltethetők.

Az invár (FeNi 36) alapanyagból készült alkatrészek kikészítése több olyan problémát vetett fel, amelyek az eddig használt alapanyagoknál nem merültek fel. A követelmény a következő volt: korrózióállóságot biztosító bevonatrendszer kialakítása, amelynek utolsó rétege nagy vezetőképességű ezüst. Meg kellett oldani a bonyolult, üregek alkatrészek, pl. $150 - 200$ mm hosszú, kis keresztmetszetű üregek belső felületének kikészítését is.

Jelentős előkészítő feladatot jelentett a megmunkálási körülmények tisztázása. A megmunkálható anyag rendkívüli szíjósága, valamint a forgácselvezetés megoldatlansága jelentett kezdetben problémát, ezenkívül a repedésveszély miatt a forrasztásra kerülő invár anyagokat lágyítani kellett, védőgázos kemencében.

Az eddig réz alapanyagból készült mikrohullámú berendezések szűrő alkatrészei azzal a — gazdasági szempontból is nagyon káros — hibával rendelkeztek, hogy a hőfokváltozás következtében a szoba-hőmérsékleten beállított amplitúdófrekvencia- és csoportfutásiidőfrekvencia-görbék eltorzulnak. Így a berendezésre specifikált intermodulációs zajelőírás egy adott hőmérséklettől nem teljesült. Ezt a hibát küszöböli ki az invár (FeNi 36) alapanyagból készített szűrő.

Az összehasonlítás kedvéért az 1. táblázatban közöljük a szűrő alapanyagok elektromos szempontból lényeges jellemző tulajdonságait.

A 8 GHz-es frekvenciasávban a vörösrézből készült szűrőnek $2,6$ MHz, alumíniumból készült szü-

rőnek $3,8$ MHz, invárból készült szűrőnek pedig csak $0,26$ MHz az elhangolódása. Az elhangolódás még ennél is nagyobb lehet, mert a beállítás szoba-hőmérsékleten (25 °C) történik, viszont a szűrő ákeret felső részében helyezkedik el, ahol a környezethez képest kb. 10 °C-kal magasabb hőmérséklet mérhető. Így a környezeti hőmérséklet felső határánál, ahol a berendezésnek a specifikált jellemzőket teljesíteni kell (45 °C), a szűrő hőmérséklete kb. 55 °C, ennek alapján a számítottnál $1,5$ -szer rosszabb a helyzet.

1. táblázat

Mikrohullámú, szűrő alapanyagok elektromos szempontból jellemző tulajdonságai

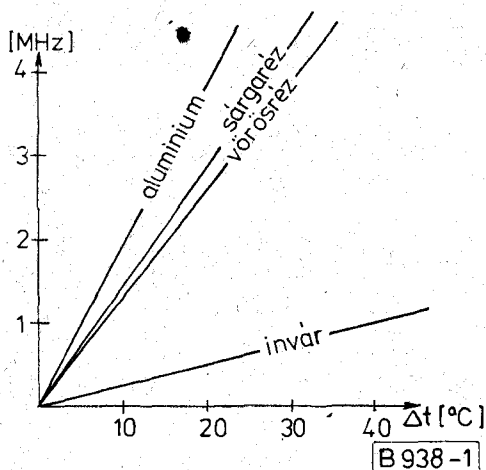
Megnevezés	Lineáris hőtágulási együttható (α)	Fajlagos ellenállás (ζ)
Vörösréz	$1,63 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	$1,724 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$
Alumínium	$2,37 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	$2,878 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$
Invár	$0,16 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	$12,0 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$
Ezüst	$1,95 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	$1,594 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$
Sárgaréz	$1,84 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	$5,314 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$

Az információtovábbítás szempontjából a lényeges sáv szélesség kb. 8 MHz, s ebben a sáv szélességben, 20 °C-os működési hőmérséklet-tartományban a futásiidőgörbe torzulása az invárból készült szűrőknél a legkisebb (1. ábra).

Ugyanakkor az invár nagy fajlagos ellenállása miatt elektromos szempontból rosszabb (veszteség), mint akár az alumínium, akár a vörösréz. Ezeknél a szűrőfajtáknál az elektromos áram a felület igen vékony rétegében folyik. A behatolási mélységet (δ) az alábbi képlet alapján számoljuk ki:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu f}}$$

ahol: ρ a fajlagos ellenállás MKS-egységben,
 μ a mágneses permeabilitás,
 f a frekvencia Hz-ben.



1. ábra. A rezonanciafrekvencia változása a hőmérséklet függvényében

A behatolási mélység értéke ezüst esetén $0,8 \mu\text{m}$, tehát kb. $4 \mu\text{m}$ vastag ezüst réteg felvitele esetén a szűrő csillapítás szempontjából úgy viselkedik, mintha ezüstről készült volna.

A fentiek, vagyis gazdasági és elektromos szempontok tették szükségessé megbízható ezüstözési eljárást kidolgozását invar (FeNi 36) alapanyagból készült, üreges mikrohullámú alkatrészekre.

Az elmondottakkal kapcsolatos felmerülő problémákat 3 nagy csoportra oszthatjuk:

1. jól tapadó bevonatrendszer kialakítása,
2. megfelelő korrózióállóság biztosítása,
3. bonyolult, üreges alkatrészek kikészítése.

Kísérleti eredmények

Jól tapadó bevonatrendszer kialakítása

Az invar a magasan ötvözött vasötvözetek közé tartozik. Összetétele:

Ni	35–37%,
C	0,5–0,6%,
Mn	0,5%,
Si	0,2%,
S	0,02%,
P	0,02%,
Fe	63–65%.

A magas nikkeltartalom a nikkelt passzíválódásra való hajlama miatt megakadályozza jól tapadó bevonatok készítését. Ez azt jelenti, hogy a felület tökéletes előkészítése esetén sincs jó tapadása a felvitt galvánrétegnek, tekintettel arra, hogy a nikkelt szemcséken kialakuló vékony, jól tapadó oxidréteg a galvánrétegek tapadását gátolja.

A jó tapadás biztosítása érdekében aktiválni kell a felületet. Az aktiválásnak különböző lehetőségei vannak. Kísérleteink során két módszerrel foglalkoztunk behatóbban, úgymint

- a) aktiválás savakban merítéssel, ill. katódosan;
- b) aktiválás fémréteget is leválasztó erősen savas elektrolitban.

Aktiválás savakban

Aktiválni erős szervesen savakban, illetve azok keverékében lehet. Katódnak kapcsolva a munkadarabot, az aktiválási idő lerövidíthető. Anódos kezelést csak kivételes esetben, pl. krómtartalom esetén alkalmaznak, ugyanis az erősen savas oldat bema-ródásokat idézhet elő a munkadarabon az anódos hatás következtében. Aktiválás után öblítés nélkül, közvetlenül a galvánfürdőbe továbbítjuk a tárgyat, ha közbelső öblítés szükséges, úgy ennek gyorsnak és intenzívnek kell lennie. Levegőn a tárgy gyors passzíválódása miatt csak rövid ideig tartózkodhat. Kísérleteink során három változatot próbáltunk ki:

1. aktiválás 20–25 tf%-os kénsavban, 1 perces beme-rítéssel (a hidrogénfejlődés megindulása után), 60–80 °C-on;
2. katódos kezelés 10–20 s%-os sósavoldatban, 2 A/dm² áramsűrűséggel, szobahőfokon;
3. katódos kezelés 10–50 tf%-os kénsavoldatban, 0,5 A/dm² áramsűrűséggel, szobahőfokon.

Azt tapasztaltuk, hogy mindhárom eljárás közös hátránya, hogy az aktiválás után, védő fémréteg hiányában ismételt passzíválódás következik be, és nagy a bema-ródás veszélye is.

Aktiválás fémréteget is leválasztó erősen savas elektrolitokban

Ennél az eljárásnál az aktiválási folyamatot egy fémréteg leválasztásával kapcsoltuk össze. A frissen leválasztott aktív fémréteg védi meg a passzíválódástól az alapot, biztosítja a további rétegek tapadását. Kísérleteink során három eljárással foglalkoztunk behatóbban, egyrészt

a) vasréteget használva tapadásközvetítőnek, másrészt

b) réz közbelső réteg kialakítását és

c) nikkeltkloridos aktiváló fürdőt vizsgálva.

a) Mivel nagy szériákról volt szó, az olcsóbb vasfürdőkkel kísérleteztünk első lépésben, bár üzemeltetésük nehezekebb, mint a nikkeltfürdőké, mivel folyamatosan más (III)-ionok képződnek a fürdőben, melyek törekenné teszik a bevonatot. Ezért folyamatos redukálásukról kell gondoskodni, ez pH problémákat vonhat maga után. A vizsgált vasfürdők közül még a legmegfelelőbbnek az alábbi összetételű bizonyult:

FeCl ₂ ·4H ₂ O	260 g/l,
MgCl ₂	175 g/l,
Katódos áramsűrűség	3 A/dm ² ,
Hőmérséklet	90–95 °C.

A vasfürdők alkalmazását végül is nagy fűtésigényük, valamint stabilitási problémák miatt elvetettük.

b) Réz közbelső réteg kialakításánál problémát jelent, hogy a réz nemesebb lévén az invarnál cementáló következik be, és rosszul tapadó rézbevonat válik le. A cementáció elkerülésére ezért olyan elektrolittal próbálkoztunk, amely nagy savtartalom mellett kis rézion-koncentrációjú. Megközelítő eredményt értünk el az alábbi fürdővel:

HCl cc.	1:1,
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,4 g/l,
Katódos áramsűrűség	3–5 A/dm ² .

Az alacsony rézkoncentráció következtében a fenti fürdő nagyon érzékeny volt a szennyezésekre, ezért technológizálásnál elvetettük.

c) A nikkelfürdő aktíváló fürdők előnye többek között az, hogy a leválasztott vékony, jól tapadó nikkelfürdő közvetlenül fémezhető. Kísérleti eredményeink alapján az alábbi összetételt tartottuk a legmegfelelőbbnek:

NiCl ₂ ·6H ₂ O	240 g/l,
HCl cc.	85 ml/l,
Katódos áramsűrűség	3 A/dm ² ,
Hőmérséklet	18–20 °C.

A gyakorlatban a három fémréteg közül a nikkelfürdő réteg felvitele bizonyult a legjobbnak, az alábbiak miatt:

1. a nikkelfürdő magas sósavtartalma folytán az aktíválás kielégítő;
2. a leválasztott nikkelfürdő probléma nélkül tovább fémezhető;
3. a nikkelfürdő szobahőmérsékleten működik;
4. üzemeltetése, karbantartása egyszerű.

A jól tapadó kikészítés mindenkor alapfeltétele a zsír- és oxidmentes felület. Az előzőekben ismertetjük az aktíválás műveletét, ahhoz azonban, hogy az aktíválás eredményesen lefolytatható legyen, az alkatrészekről el kell távolítani a tapadást gátló oxidokat és zsírszennyeződések.

Az invárból készült mikrohullámú alkatrészeknél itt is új problémák merültek fel, nevezetesen a keményforrasztott kivitelben készült szűrőknél. A keményforrasztás Deggusa H. spec. keményforrasztással történik 800 °C-on. A forrasztási maradékok, különösen hosszabb állás után, nehezen eltávolítható korróziós göcöt képező lepedéket adnak. Ugyanakkor erős revésedés is felléphet. A folyósítószer és a reve eltávolítására több módszert próbáltunk ki. A szobajöhető megoldások a következők voltak: egyrészt csak kémiai kezelés, másrészt kombinált kémiai és mechanikai kezelés.

1. Kémiai módszerként lúgozást és inhibitor tartalmú sósavoldatba történő bemelegítést alkalmaztunk. Tapasztalatunk szerint ez a kezelés csak felszította a folyósítószer-maradványokat, de tapadásuk — különösen a forrasztási hézagoknál — továbbra is olyan erős volt, hogy az elektrolitikus zsírtalanító intenzív „oxigén, ill. hidrogén dekápir”-ja sem tudta tökéletesen eltávolítani azokat.

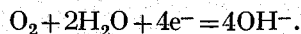
2. Kémiai és együttes mechanikai kezeléssel (kefével) a folyósítószer-maradványok eltávolíthatóvá váltak. Az üregek belsejébe azonban tisztító kefével benyúlni problematikus, nem beszélve az előkészítés munkaigényességéről. Felvetődött a nedves szemcsefűvés technológiájának alkalmazása, melynek lényege a következő: alumíniumoxid vizes szuszpenzióját nyomás alatt a felületre kell juttatni, ahol a csiszolószemcsék koptató hatására a felület fémtiszta lesz. Problémaként jelentkezett azonban a

szemcsefűvása a felület durvulása, mely az alkatrész elektromos paramétereit ronthatja. Az elérhető felületminőség az alkalmazott zagy-nyomás függvényében változik. Esetünkben a max. 2 atm. nyomáson a műkorundos-vizes zagy még elégséges koptató hatással rendelkezik a folyósítószer, illetve a durva oxid eltávolítására, ezért technológizáláskor ezt a módszert választottuk.

Korrózióállóság biztosítása

Az invár magas nikkeltartalma ellenére — lévén, hogy nem austenites szerkezetű — nedves légtérben gyorsan korrodál. Gyorsított nedves—meleg vizsgálatunk azt mutatták, hogy két ciklus után erős rozsdásodás lép fel. Különösen veszélyesek az alapanyagban levő vékony repedések, lunkerek. Veszélyesek a zsákfuratok, ill. keményforrasztott szűrők esetén a forrasztási hézagok. A kapilláris hatás folytán ugyanis a lecsapódó víz a repedésekbe beszívódik, és réskorrózió alakul ki, ahol a kevésbé szellőző részek viselkednek anódként.

A végkikészítésként megkövetelt ezüstréteg védőbevonatként kimondottan rossz. Az ezüst jóval nemesebb potenciálú, mint az alapfém. Ezért páralecsapódás esetén galvánelem alakul ki, melynek katódja az ezüst, oldódó korrodáló része pedig a vas. A korrózió oxigén-depolarizációval megy végbe, a katódos folyamat a következő:



Az anódos folyamat pedig a vas ionizálódása, melynek eredményeként vashidroxid, azaz rozsdá képződik.

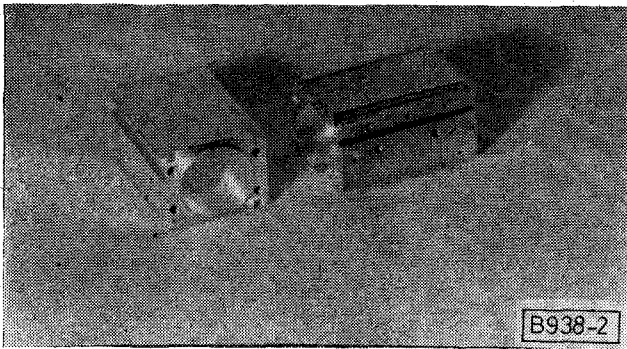
Korrózióvédelmi szempontból ezért közbenső fémréteget kell felvinni, melynek célja az alapfém elzárása az ezüsttől. Erre a célra két fém jöhetett számításba: nikkelfürdő, illetve réz. Bonyolult alkatrészek esetén is egyenletes rétegvastagság-eloszlást kellett biztosítani, azaz követelmény volt a fürdő jó makroszórása. Mivel a cianidos rézfürdő polárizációs paramétere 1,55, vagyis négyszerese a nikkelfürdőnek, így előbbivel egyenletesebb rétegvastagság-eloszlás biztosítható. A cianidos rézfürdő alkalmazása az áramsűrűség növekedésével rohamosan csökken, ez is az egyenletesebb rétegeloszlást segíti elő.

Cianidos rezek esetében a munkadarabokon korróziós nyomok csak hat ciklus után jelentkeztek (gyorsított nedves—meleg klímavizsgálat során), bizonyítva azt, hogy a korrózióállóság megnövekedett. Ebben az esetben is a forrasztási résekből indult a korrózió, jelezve, hogy a forrasztás minősége mennyire befolyásolja az egész alkatrész korróziós viselkedését.

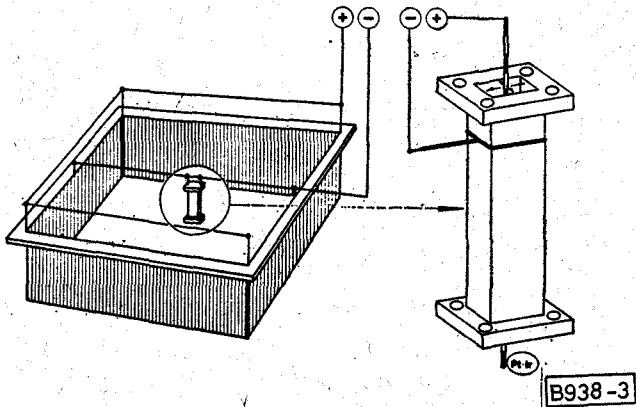
A megfelelő bevonatrendszer felépítése tehát a következő: nikkelfürdő—réz—ezüst (passzívált).

Bonyolult alkatrészek kikészítése

A kikészítendő mikrohullámú alkatrészek egy részét felépítésükre nézve az alábbiak jellemzik:



2. ábra. Átmenő, szűk furatokkal ellátott, profilos mikro-hullámú üreg ezüstözve



3. ábra. A külön áramkörökkel működő segédanóda-rendszer

- átmenő, szűk furatokkal ellátottak, rendkívül profilosak, méreteik szigorúan előírtak (2. ábra);
- négyszögprofilú húzott csövek, beforrasztott csapokkal, mikrohullámú szempontból működő felületeik a bonyolult geometriájú belső felületek.

A bonyolult alkatrészek korrózióvédelmének, illetve a belső felületek elektromos szempontból megfelelő egyidejű kikészítésének biztosítására alkalmas segédanóda-rendszert dolgoztunk ki (3. ábra).

Invárból készült bonyolult alakú mikrohullámú alkatrészek ezüstözésére kidolgozott technológia

Alkatrészek előkészítése

Az előkészítési munkák forgácsolás után, lágyítás és forrasztás között, illetve közvetlenül galvanizálás előtt történnek.

- Zsírtalanítás triklóretilénben folyadék, III. gőz fázisban;
- Reve- és oxideltávolítás cc. sósavban;
- Öblítés;
- Szárítás;
- Folyósítószer-maradék eltávolítása 20%-os lúg-oldattal;
- Öblítés;

- Homokfűvás max. 2 atm-val (keményforrasztás esetén).

Alkatrészek galvanizálása

- Oldószeres zsírtalanítás;
- Pácolás ZSIPA-oldatban;
- Öblítés;
- Elektrolitikus zsírtalanítás, katódosan;
- Öblítés;
- Dekapírozás 10%-os sósavoldatban;
- Nikkelkloridos aktiválás, a fürdő összetétele:

Nikkelklorid 240–250 g/l,
Sósav cc. 80–90 g/l;

- Öblítés;
- Galvanikus rezezés, a fürdő összetétele:

Rézcianid 55 g/l,
Nátriumcianid 15 g/l,
Szabad cianid 10 g/l,
Nátriumkarbonát 40 g/l,
Nátriumtioszulfát 0,5 g/l,
Katódos áramsűrűség 1 A/dm²,
Hőmérséklet 50–60 °C,
pH 11–12,
réz, anód, exp. idő 25 perc,
a fürdőt folyamatosan szűrni kell;

- Öblítés folyóvízben;

- Előezüstözés;

- Ezüstözés, a fürdő összetétele:

Ezüsfcianid 80–90 g/l,
Kalciumcianid (szabad) 70–80 g/l,
Káliumkarbonát 50–60 g/l,
Tiokarbamid 20–25 g/l,
Dimetilszulfoxid 0,1–1 g/l,
Katódos áramsűrűség 2 A/dm²,
Alkalmazott feszültség 3–5 V,
Hőmérséklet 20–25 °C,
Expozíciós idő 20 perc,
Ezüstlemez anód,
Katódmozgítás (sebesség: 5–6 m/sec);

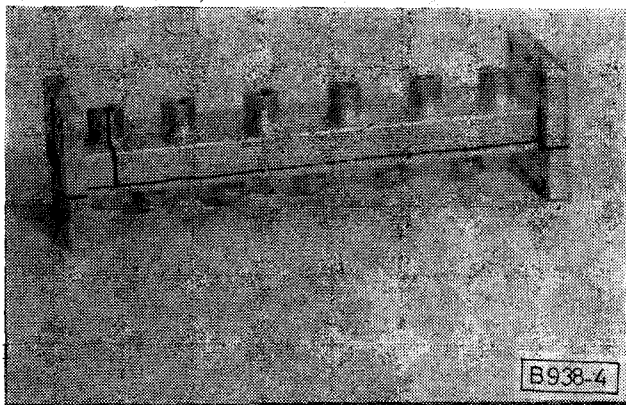
- Öblítés, szárítás.

Az ezüstözés expozíciós idejét a kívánt rétegvastagság alapján számítjuk, lásd 2. táblázat.

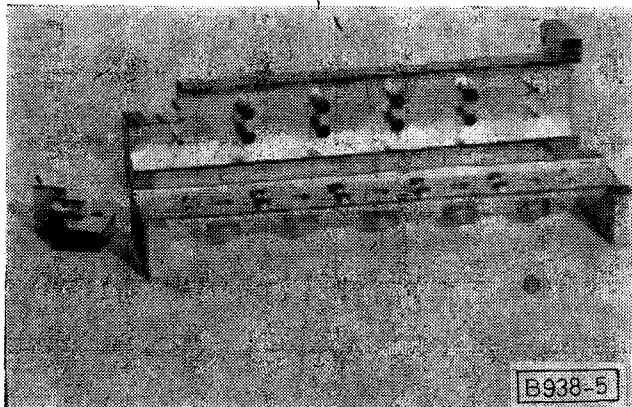
2. táblázat

Expozíciós idő—rétegvastagság összefüggése

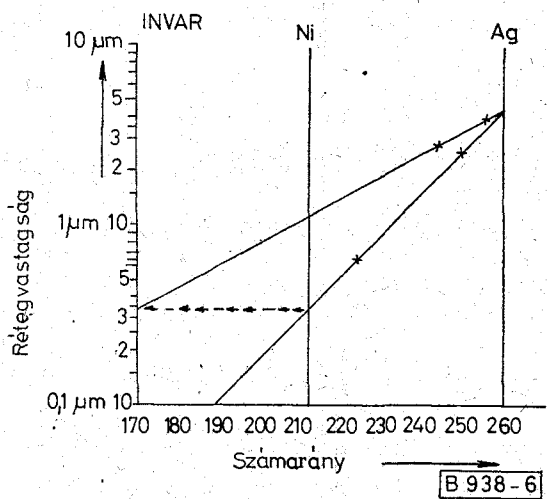
Exp. idő perc	Áramsűrűség			
	0,5 A/dm ²	1 A/dm ²	1,5 A/dm ²	2 A/dm ²
Rétegvastagság μm-ben				
1	0,32	0,64	0,96	1,28
2	0,64	1,28	1,92	2,56
3	0,96	1,92	2,88	3,84
4	1,28	2,56	3,84	5,12
5	1,60	3,20	4,80	6,40
6	1,92	3,84	5,76	7,68
7	2,24	4,48	6,72	8,96
8	2,56	5,12	7,86	10,24
9	2,88	5,76	8,64	11,52
10	3,20	6,40	9,60	12,80



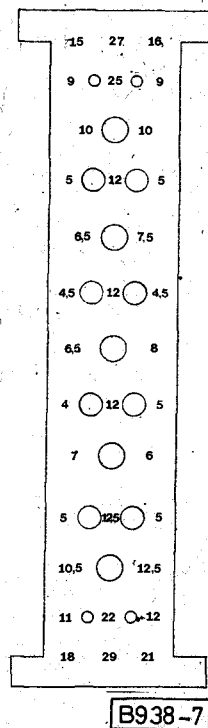
4. ábra. Forrasztott, botos szűrő metszésvonalainak fényképe



5. ábra. Invar alapanyagból készült szűrő metszésvonalainak fényképe.



6. ábra. Transzformációval készült Betascope-os rétegvastagság-mérés eredménye



7. ábra. A rétegvastagság-eloszlás az „A” metszeten. (Jól látható a botok árnyékoló és a segédanóda-rendszer kiegyenlítő hatása)

Összefoglalás

A kidolgozott kikészítési eljárás lehetővé tette az invar kedvező tulajdonságainak kihasználását mikrohullámú berendezések alkatrészeinél. Az eljárás alkalmazása megfelelő korrózióállóságot biztosít, a mikrohullámú láncok szélsőséges időjárás viszonyok között az elhangolódás veszélye nélkül üzemeltethetők.

1. A kidolgozott aktiválási eljárás biztosítja a galvanikusan leválasztott ezüstbevonat kiváló tapadását (4. ábra).
2. Az ismertetett technológia alkalmazása biztosítja az alkatrészek jó korrózióállóságát.
3. A kidolgozott segédanóda-rendszerek az elektromos szempontból lényeges belső felületeken a rétegvastagság-eloszlás egyenletességét biztosítják, amit a Betascope-val mért rétegvastagság-értékek is bizonyítanak (5., 6., 7. ábra).